

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-260799

(43)Date of publication of application : 24.09.1999

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065
// C23F 4/00

(21)Application number : 10-062524

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 13.03.1998

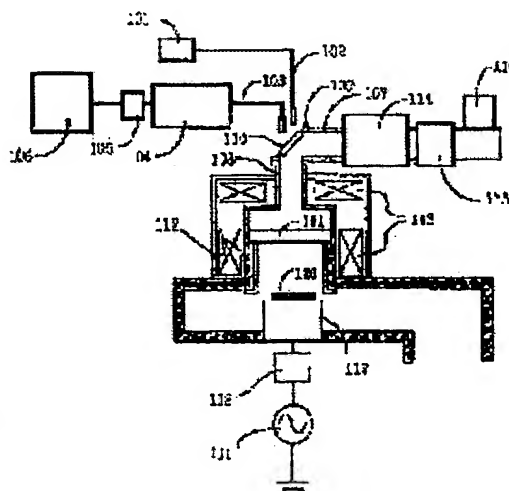
(72)Inventor : MIYAZAKI HIROSHI

(54) FINE WORKING METHOD OF THIN FILM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To realize low gas, high bias voltage, etc., and reduce in-plane form difference and the like, by monitoring the residual film thickness of polysilicon, and performing changeover to a high selective etching condition just before a gate oxide film is exposed, when a polysilicon film is etched as far as the midway of film formation with a specified low gas pressure.

SOLUTION: A quartz window 110 is installed in a conversion waveguide 109 for introducing microwave into a circular waveguide 108. An optical fiber 102 for white light irradiation and an optical fiber 103 for taking in a plasma light reflected by a wafer surface are installed in the window 110. The light taken in the optical fiber 102 is spectrally analyzed by a spectroscope 104, and converted to an electric signal by using a photoelectric multiplier tube 105. A waveform analyzer 106 calculates an etching film thickness. The polysilicon film is etched as far as the midway of the film formation, with a low gas pressure of a most 0.1 Pa. The residual film thickness of polysilicon is monitored by using a light interference type real time film thickness monitor. Just before a gate oxide film is exposed, changeover to a high selective etching condition is performed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.09.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-260799

(43)公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

E

// C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

F

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平10-62524

(22)出願日 平成10年(1998) 3月13日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 宮▲崎▼ 博史

山口県下松市大字東豊井794番地 株式会
社日立製作所笠戸工場内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

(54)【発明の名称】 薄膜の微細加工方法

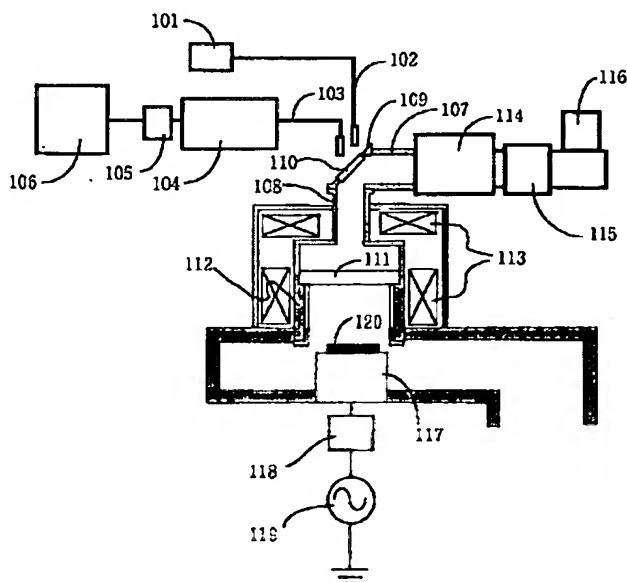
(57)【要約】

【課題】半導体装置のゲート電極加工においてウエハの大口径化やパターンの疎密によって生じるエッチング均一性の低下を防止する。

【解決手段】0.1Pa以下の低ガス圧力条件でゲート電極のエッチングを行う。ポリシリコンの終点時に起こる酸化膜の損傷を防止するため、光干渉式リアルタイム膜厚モニターでポリシリコン残膜を検知し、終点直前に高選択エッチング条件に切り換える。

【効果】直径300mmの大口径ウエハでも高精度で加工できる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】光学的に透明な薄膜を有する試料を圧力0.1Pa以下のプラズマを用いてエッチングする工程において、前記試料の透明薄膜が所定膜厚まで減少したことをリアルタイム膜厚モニタで検知し、当該検知にตอบสนองしてエッチング条件を変更することを特徴とする薄膜の微細加工方法。

【請求項2】リアルタイム膜厚モニタによる所定膜厚検知後に、ガス圧力を1Pa以上に高めることを特徴とする請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項3】リアルタイム膜厚モニタによる所定膜厚検知後に、反応ガスを臭素と酸素の混合ガスに切り換えることを特徴とする請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項4】リアルタイム膜厚モニタによる所定膜厚検知後に、基板に印加するrf電力を30W以下に下げることがを特徴とする請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項5】リアルタイム膜厚モニタによる所定膜厚検知後に、基板に印加するrf電力を、デューティ比20%以下でON-OFF変調することを特徴とする請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項6】リアルタイム膜厚モニタによる所定膜厚検知後のエッチング条件変更が、請求項2から5までの要件を少なくとも一つ以上含み、かつこれらを複数組み合わせたことを特徴とする請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項7】リアルタイム膜厚モニタは、試料の白色光を照射する第1の光ファイバーと、当該試料からの反射光を取り込む第2の光ファイバーと、当該第2の光ファイバーで取り込んだ反射光を分光する分光器と、当該分光した反射光を電気信号に変換する光電増倍管とを具備して成る請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項8】リアルタイム膜厚モニタは、試料の白色光を照射する第1の光ファイバーと、当該試料からの反射光を取り込む第2の光ファイバーと、当該第2の光ファイバーで取り込んだ反射光をフィルタリングする光フィルターと、当該フィルタリングした反射光を電気信号に変換する光電増倍管とを具備して成る請求項1記載の薄膜の微細加工方法。

【請求項9】ポリシリコンのエッチング膜厚測定に用いる光の波長は、290-360nmであることを特徴とする薄膜の微細加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は半導体基板上に設けられた光透過性薄膜の微細加工方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光干渉式膜厚モニタについては第19回ドライプロセスシンポジウムの235頁から242頁(Proceedings of Symposium on Dry Process, November 12-14, To

kyo (1997), p.235-242)に記載されている。

【0003】また、ウエハ面内のエッチング均一性を高めるためにフォーカスリングを用いる方法については例えば特開平6-033645に記載されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】大規模集積回路(LSI)の高密度化・高速化の要請から、MOS(metal-oxide-semiconductor)トランジスタのゲート電極は将来的には線幅0.2μm以下まで縮小され、下地のゲート酸化膜は4nm以下まで薄膜化される。同時に、製造コスト削減のためシリコンウエハは200mmから300mmに大口径化される。したがって、ゲート電極のドライエッチングでは以下に述べる問題を解決する必要がある。

【0005】すなわち、MOSトランジスタでは動作特性を揃えるためゲート電極底辺の寸法(CD;critical dimension)を±0.02μm以下の精度で加工することが必須である。ところが、面内位置やパターン疎密度によって仕上がり寸法に差が生じる。これらは、それぞれ、面内形状差および疎密形状差と呼ばれ、微細加工の障害になっている。

【0006】ウエハ面内でガス濃度やプラズマ密度が不均一な場合、面内形状差が生じる。すなわち、反応生成物の濃度が高くなる中央部では側壁堆積物が増加してパターンが太る傾向にある。また、大口径ウエハでは大きな濃度分布が生じるため、面内形状差はより顕著になる。

【0007】一方、パターン自体の遮蔽効果によって生じる疎密形状差も大きな問題である。すなわち、パターン間隔が狭くなるとイオンやラジカル、反応生成物の入射量が低下する。そのため、エッチング速度は遅くなるが、パターンは太らない。逆に孤立パターンやオープンスペースに面したパターンでは、密パターンよりも反応生成物の入射量が多く側壁に堆積し、パターンが太る傾向にある。

【0008】前記した両形状差ともガス圧力の影響を強く受ける。すなわち、ガス圧力が高くなると、分子どうしの衝突散乱が増えて水平方向への分子移動が抑制され面内のガス濃度分布が大きくなること、及び衝突散乱が頻繁になって反応生成物の再入射量が増えるために疎部への側壁堆積量が非常に大きくなることが分かっている。

【0009】従来のエッチング技術では、プラズマ密度の面内分布を調整することでガス濃度分布の不均一を相殺していた。ただし、この方法では実用に適したエッチング条件の範囲が狭くなり、プロセス不安定性の原因になっていた。このため、ウエハをリング状の障壁(フォーカスリング)で囲み、その中にガスを淀ませることによって反応生成物の濃度を均一にする方法が用いられている。しかし、疎密形状差については有効な対策手段が殆どなく、現時点ではガス圧力を下げることが最も効果

的である。

【0010】ガス圧力を0.1Pa以下まで下げると形状差は低減できるが、半導体装置の量産ではこのような低圧力条件は好まれない。その理由は、エッチング速度が低下してウエハ処理能力が落ちること、ゲート酸化膜に対する選択比が低下すること、電子シェーディングによる形状異常やチャージアップダメージが発生すること等の弊害があるからである。

【0011】これらの問題も個別にはエッチング条件を選ぶことで解決できる。低圧でも、基板に印加するバイアス電圧を高くし、ガス流量を増やすせば、高速でポリシリコンがエッチングできる。しかし、従来のエッチング終点判定技術を用いる限り、終点付近で低圧、かつ高バイアスのエッチングは破綻する。すなわち、プラズマ発光や基板バイアス電圧の変化をモニタする方法は、いずれもフィードバック方式であるため、終点検出時にはゲート酸化膜のエッチングがかなり進行しているからである。この時点でエッチング条件を変更しても酸化膜の損傷は避けられない。したがって、ゲート酸化膜が露出する直前に選択比の高いエッチング条件に変更することが必須である。

【0012】最近になって、光干渉式膜厚モニタ(第19回ドライプロセスシンポジウムの235頁から242頁に記載)が考案され、エッチング中のポリシリコンの膜厚測定が可能になった。ただし、エッチング制御への応用例は殆どない。

【0013】本発明の目的は、低ガス圧、かつ高バイアス電圧、高ガス流量エッチングを実現し、面内形状差や疎密形状差を低減することのできる薄膜の微細加工方法を得ることにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明においては、ゲート電極加工工程において、0.1Pa以下の低ガス圧力でポリシリコン膜の途中までエッチングをする。このエッチング中にポリシリコンの残膜厚を光干渉式リアルタイム膜厚モニタで監視し、ゲート酸化膜が露出する直前(残り300nm以内)で高選択エッチング条件に切替える。

【0015】

【発明の実施の形態】図1に本発明の一実施例を示すエッチング装置の概要を示す。

【0016】マイクロ波を矩形導波管107から円形導波管108に導入するための変換導波管109に石英窓110を設け、この窓110に白色光を照射するための光ファイバー102、およびウエハ表面で反射したプラズマ光を取り込むための光ファイバー103を設置する。101は白色光光源であり、光ファイバー102に白色光を供給する。取り込んだ光は分光器104で分光し、光増倍管105を用いて電気信号に変換し、波形解析装置106にてエッチング膜厚を算出する。この分光器104は光フィルターであっても良

い。ポリシリコンのように光学的に透明な薄膜では、薄膜上面で反射された光と薄膜下面で反射された光が干渉するため、エッチングによる膜厚減少に対応して反射強度が周期的に変化する。したがって、薄膜の屈折率が既知の場合は位相変化量からエッチング膜厚が計算できる。この薄膜上に別種の透明なエッチングマスクが存在する場合でも、膜厚変化の測定が可能である。

【0017】なお、図1において、116はマイクロ波の供給源であるマグネトロン、115はアイソレータ、114はチューナである。112は反応容器であり、111は石英窓、113は反応容器112内に磁場を形成するソレノイドである。117はウエハ120を搭載する電極、119は電極117にバイアス電力を供給するrf電源、118は電極117へ供給する電力を調整するマッチングボックスである。

【0018】図2に有機レジストを用いてMOSトランジスタのゲート加工を行った場合の光反射強度変化の一例を示す。これは分光器104で波長320nmの反射光を取り出し、その強度変化をモニタした結果である。これによれば、レジストの屈折率($n=1.5$)に対しポリシリコンの屈折率($n=5.2$)が約一桁小さいことに対応して、ポリシリコンからの反射光の方が有機レジストからの反射光よりも3.5倍ほど短い周期で変化している。

【0019】加工マスクとして窒化シリコン膜や酸化シリコン膜を用いても、同様の理由からリアルタイムで膜厚が測定できる。以下、この膜厚測定器を光干渉式リアルタイム膜厚モニタと称する。

【0020】目的とする高度なマルチステップ・エッチングを行うためには、低圧エッチングと光干渉式リアルタイム膜厚モニタを組み合わせることが必要である。低圧でエッチングを行えば、面内/疎密のエッチング速度差はなくなる。ウエハ面内でエッチングが均一に進行するので、光干渉式リアルタイム膜厚モニタによりエッチング膜厚が正確に測定できる。このため、タイミングよくエッチング条件を切り換えることが可能になり、低圧エッチングでもゲート酸化膜の損傷が防止できる。すなわち、低圧エッチングと組み合わせることで、光干渉式リアルタイム膜厚モニタの能力を十分引き出すことができる。

【0021】本発明によるエッチングの実施例について説明する。

【0022】(実施例1)図3にエッチング試料の断面構造を示す。これは、直径300mmのシリコンウエハ301上に3nmの酸化膜302、200nmの n^+ ドープドポリシリコン膜303、200nmの窒化シリコン膜304がこの順序で積層されている。窒化シリコン膜304はレジストマスクによって加工されており、最小線幅は0.13 μm である。

【0023】表1に4通りのマルチステップ・エッチング方法を示す。各々はポリシリコン膜303のエッチング時のガス圧力(0.1Pa、0.4Pa)と終点検出方法(光干渉式リアルタイム膜厚モニタ、プラズマ発光モニタ)の組合せ

が異なっている。基板に印加するrf電力とガス流量を調節して処理時間が同じになるようにあらかじめ各々のエッチング条件を定めた。この前提の下で各方法の優劣を比較した。図4に各モニタ信号と膜厚の時間変化を示した。また、表2にウエハ中央部と周辺部における孤立パ *

*ターンと密パターンのCDシフト量およびマイクロトンチ(微細な孔)の発生有無を示した。

【0024】

【表1】

表1(a)

プラズマ発光モニタ 切換え	ステップ	ガス流量(ml/min)			圧力 (Pa)	rf電力 (W)	マイクロ波 (W)	基板温度 (℃)
		Cl ₂	O ₂	HBr				
	1(5秒)	120			0.1	160	500	5
	2	108	12		0.1	160		
	3		3	100	1	20		

表1(b)

プラズマ発光モニタ 切換え	ステップ	ガス流量(ml/min)			圧力 (Pa)	rf電力 (W)	マイクロ波 (W)	基板温度 (℃)
		Cl ₂	O ₂	HBr				
	1(5秒)	80			0.4	60	500	5
	2	72	8		0.4	60		
	3		3	100	1	20		

表1(c)

光干涉式リアルタイム 膜厚モニタ 切換え	ステップ	ガス流量(ml/min)			圧力 (Pa)	rf電力 (W)	マイクロ波 (W)	基板温度 (℃)
		Cl ₂	O ₂	HBr				
	1(5秒)	120			0.1	160	500	5
	2	108	12		0.1	160		
	3		3	100	1	20		

表1(d)

光干涉式リアルタイム 膜厚モニタ 切換え	ステップ	ガス流量(ml/min)			圧力 (Pa)	rf電力 (W)	マイクロ波 (W)	基板温度 (℃)
		Cl ₂	O ₂	HBr				
	1(5秒)	80			0.4	60	500	5
	2	72	8		0.4	60		
	3		3	100	1	20		

【0025】

【表2】

表2(a)

プラズマ発光モニタ, 0.13Pa

	孤立パターン		密部	
	CDシフト (μm)	マイクロレンチ	CDシフト (μm)	マイクロレンチ
ウエハ中央	+0.002	あり	-0.001	なし
ウエハ周辺	+0.001	あり	-0.003	あり

表2(b)

プラズマ発光モニタ, 0.4Pa

	孤立パターン		密部	
	CDシフト (μm)	マイクロレンチ	CDシフト (μm)	マイクロレンチ
ウエハ中央	+0.021	あり	-0.006	あり
ウエハ周辺	+0.016	あり	-0.008	あり

表2(c)

光干渉式リアルタイム膜厚モニタ, 0.13Pa

	孤立パターン		密部	
	CDシフト (μm)	マイクロレンチ	CDシフト (μm)	マイクロレンチ
ウエハ中央	+0.002	なし	0.000	なし
ウエハ周辺	+0.001	なし	-0.001	なし

表2(d)

光干渉式リアルタイム膜厚モニタ, 0.4Pa

	孤立パターン		密部	
	CDシフト (μm)	マイクロレンチ	CDシフト (μm)	マイクロレンチ
ウエハ中央	+0.012	なし	-0.002	なし
ウエハ周辺	+0.010	あり	-0.003	あり

【0026】プラズマ発光モニタを使用した場合、発光強度(波長391nm)の時間二次差分が零になったところでオーバーエッチング条件(ステップ3)に切り換えた。プラズマ発光モニタは、ポリシリコン膜303のエッチングが終了しプラズマ中のシリコン濃度が十分低下した時刻を検知するため、ここで条件を切替えてもゲート酸化膜302の一部分はすでにプラズマに晒されている(図4a, 図4b)。ガス圧力0.1Paのエッチングでは選択比が不足して基板301にマイクロレンチが発生した(表2a)。一方、ガス圧力0.4Paの場合はマイクロレンチが発生したことに加えて、ウエハ内の最大寸法差(=[ウエハ中央部孤立パターン幅] - [ウエハ周辺部密パターン幅])が0.029 μm もあり、面内形状差や疎密形状差は目標値を越えている(表2b)。

【0027】次に、光干渉式リアルタイム膜厚モニタ使用時のエッチング結果について述べる。本実施例では波長300nmの光をモニタした。波長が短いほど膜厚分解能が上がる。ただし、ポリシリコンの屈折率が安定な波長域は290-360nmであるため、この範囲の波長を選択することが望ましい。ここでは310nmの光でモニタした。ポリシリコンの屈折率が5.2であるため、ポリシリコン中の波長は60nmである。したがって、残膜厚30nmが十分検

知できる精度を有している。ガス圧力0.1Paでエッチングする場合でも、塩素(Cl_2)/酸素(O_2)総ガス流量を120ml/minに増やし、rf電力を160Wに高めたことで、実用速度300nm/minが得られた。ポリシリコン残膜厚が30nmまで減少した時点でオーバーエッチング条件(臭化水素(HBr)/ O_2 、ガス圧力1Pa、rf電力 20W)に切替えたため(図4c)、酸化膜厚が3nmであるにもかかわらずマイクロレンチは発生しなかった(表2c)。ポリシリコン層303が消失する前にrf電力を下げたのでチャージアップダメージも発生しなかった。そのため、ウエハ内の最大寸法差を0.003 μm まで抑制することができた(表2c)。

【0028】これに対し、ガス圧力0.4Paでステップ2のエッチングを行った場合の最大寸法差は、0.015 μm と大きかった。マイクロローディングによるエッチング速度差は9%に達し(図4d)、光干渉式リアルタイム膜厚モニタによる残膜厚の測定が不正確になりウエハ周辺部でマイクロレンチが発生した(表2d)。

【0029】以上の検討から、ガス圧力0.1Paでエッチングし光干渉式リアルタイム膜厚モニタを用いてエッチング条件を切り換える方法が最も優れていることが理解できる。

【0030】(実施例2)図5にエッチング試料の断面構造

30

40

50

を示す。直径300mmのシリコンウエハ501上に3nmの酸化膜502、70nmのn⁺ドーパドポリシリコン膜503、5nmの窒化タングステン膜504、150nmのタングステン膜505、200nmの窒化シリコン膜506がこの順に積層されている。窒化シリコン膜506はレジストマスクによって加工されており、最小線幅は0.18 μ mである。

【0031】0.4Paでエッチングした場合、ラジカル反応がまだ活発であるためタングステン膜505のエッチングが均一に進行しないこと、タングステン膜505のエッチングが高速になる条件ではポリシリコン膜503のエッチングも高速になり酸化膜502との選択比確保が困難になることが問題になった。これらの問題は次のように解決した。

【0032】上層のタングステン膜505を反応ガスCl₂(30ml/min)/O₂(10ml/min)を用いてガス圧力0.08Pa、rf電力160Wでエッチングした。この場合もポリシリコン/タングステンの選択比はやはり確保できないが、タングステン膜505のエッチングが均一に進行するという長所がある。光干渉式リアルタイム膜厚モニタではタングステン膜505の膜厚変化は分からないが、窒化タングステン膜504のエッチング終点ではウエハの反射率が大きく変化するため、終点検出は十分可能である。そこで、この信号をトリガとしてrf電力を100Wまで下げ、ポリシリコン膜503をエッチングし、残膜厚20nmになった時点で反応ガスをHBr(150ml/min)/O₂(3ml/min)に切り換え、さらに圧力を1.2Paまで上げrf電力を30Wまで下げてこれまでのエッチング時間に対し50%のオーバーエッチングを行った。ポリシリコン膜503のエッチングが始まったところでrf電力を下げたため、ポリシリコン膜503のエッチング速度が低下した。ポリシリコン膜503の初期膜厚が70nmと薄い場合でも残膜厚20nmでの切替えが可能になった。また、オーバーエッチング時に選択性の高いHBr/O₂ガスを用いたことによりマイクロレンチの発生を防止することができた。CDは0.18 \pm 0.006 μ mであり、高精度加工を実現した。この例に示されるように、低ガス圧力エッチングと組み合わせることで、光干渉式リアルタイム膜厚モニタの能力を十分引き出すことができた。

【0033】(実施例3)図5の試料において上層のタングステン膜505をCl₂(30ml/min)/O₂(10ml/min)を用いてガス圧力0.08Pa、rf電力160Wでエッチングした。光干渉式リアルタイム膜厚モニタで観測し、ウエハの反射率が大きく変化した時点で反応ガスをCl₂(72ml/min)/O₂(8ml/min)に切り換え圧力を0.4Paまで上げrf電力を60Wまで下げ、かつ図6に示すようにrf電力をON-OFF変調してポリ

シリコンをエッチングした。ON-OFFの同期1kHz、ON時間のデューティ比は30%とした。さらに、ポリシリコンの残膜厚が20nmになった時点でON-OFF周期1kHz、ON時間のデューティ比15%でrf電力のON-OFF変調を行ないこれまでのエッチング時間に対し100%のオーバーエッチングを加えた。ON-OFF変調を行うことでポリシリコン/酸化膜の選択比が高くなり、マイクロレンチの発生を防止することができた。さらに、検討を加え、このON-OFF変調でduty比を20%以下にすればポリシリコン/酸化膜の選択比が100を越え、マイクロレンチ防止に効果的であることを明らかにした。

【0034】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば、MOSトランジスタのゲート加工に光干渉式リアルタイム膜厚モニタを使用することで、0.1Pa以下の低圧エッチングを実施した場合の弊害を除き、加工精度を大幅に改善することができる。すなわち、ポリシリコンのエッチング終点付近で発生する酸化膜のマイクロレンチやチャージアップダメージを防ぎ、低圧エッチングの効果として直径300mmのウエハでも面内形状差や疎密形状差を0.01 μ m以下に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用したのエッチング装置を示す図である。

【図2】光干渉式リアルタイム膜厚モニタで得られた反射光強度の時間変化を示す図である。

【図3】実施例で用いた試料の断面構造を示す図である。

【図4】エッチング時のモニタ信号と膜厚の時間変化を示す図である。

【図5】実施例で用いた試料の断面構造を示す図である。

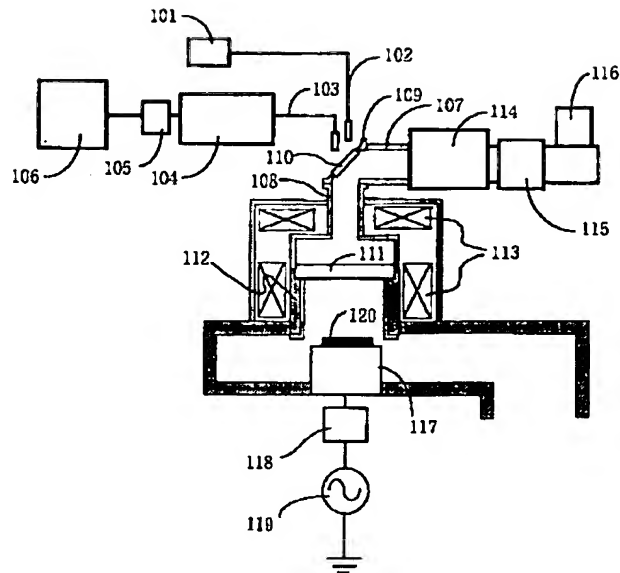
【図6】rf電力のon-off変調の説明図である。

【符号の説明】

101…白色光光源、102,103…光ファイバー、104…分光器もしくは光フィルター、105…光電増倍管、106…波形解析装置、107…矩形導波管、108…円形導波管、109…変換導波管、110,111…石英窓、112…反応容器、113…ソレノイド、114…チューナー、115…アイソレータ、116…マグネトロン、117…電極、118…マッチングボックス、119…rf電源、120…ウエハ、301,501…シリコン基板、302,502…ゲート酸化膜、303,503…ポリシリコン膜、304,506…窒化シリコン膜、504…窒化タングステン膜、505…タングステン膜。

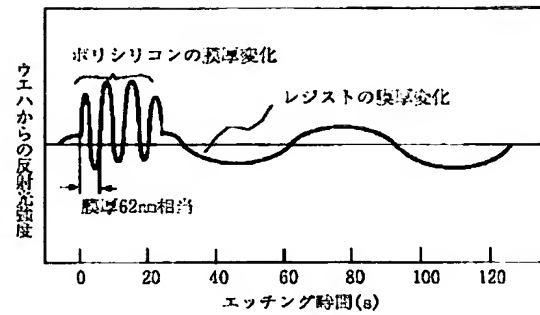
【図1】

図1



【図2】

図2



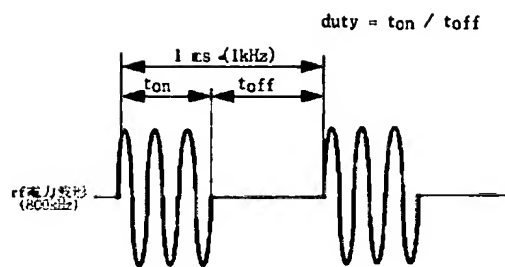
【図3】

図3



【図6】

図6



【図4】

図4(a)

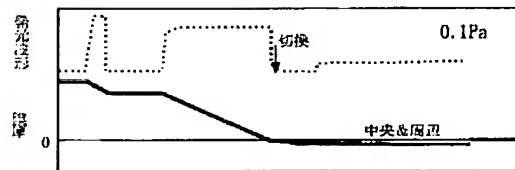


図4(b)

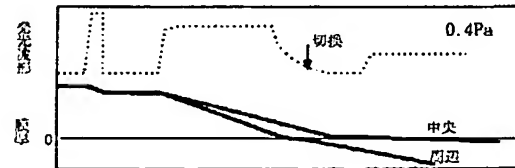


図4(c)

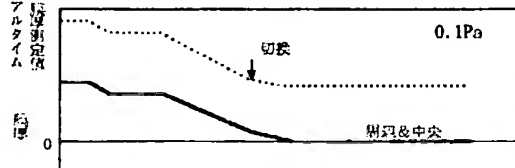
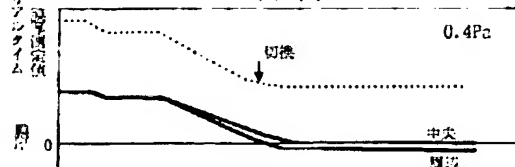


図4(d)



【図5】

図5

